

УДК 633.1: 631.172 (477.6)

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-147-159

EDN: ORWTRK

Энергетическая эффективность возделывания сорго и других зерновых культур в Донбассе

А. В. Барановский^{✉1}, Н. Н. Тимошин¹, О. Н. Курдюкова²

¹ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова»
291008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, г.о. Луганский, р-н Артемовский, тер. ЛНАУ, 1

²Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина»
196605, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 10 лит. А

Аннотация. В статье проведен анализ урожайности и биоэнергетической эффективности выращивания яровых зерновых культур за 2018–2022 гг. в 5-польном севообороте кафедры земледелия и растениеводства ФГБОУ ВО Луганский ГАУ. Установлено, что в условиях потепления и усиления аридности климата Луганской Народной Республики выращивание среднеранних гибридов зернового сорго Солариус, Спринт W (период вегетации 101–110 и более дней) обеспечивает рост урожайности зерна в сравнении с яровым ячменем сорта Ратник на 3,12–2,82 т/га (110,6–104,1 %), а в сравнении со среднеранними гибридами зерновой кукурузы (Луганский 287 МВ и Подольский 274 СВ) – на 2,08–1,70 т/га (53,9–44,4 %). Доказано, что при выращивании зернового сорго замена осенней отвальной вспашки на глубину 25–27 см мелким дисковым рыхлением на 12–14 см существенно снижала урожайность культуры на 0,41 т/га (6,9 %). При выращивании зернового сорго получен максимальный в опыте выход валовой энергии с 1 гектара посевов, который превысил накопление валовой энергии в урожае зерна кукурузы на 35263–29250 МДж/га (60,4–50,5 %) и в урожае зерна ячменя на 47294–42637 МДж/га (101,9–95,6 %). Это обеспечило и формирование наибольших значений коэффициентов энергетической эффективности (η) выращивания сорго – 4,37–4,11, которые превысили данный показатель у зерновой кукурузы на 2,32–2,07, а у ярового ячменя – на 1,67–1,50 единиц. Наибольшие доли затрат валовой энергии при производстве ярового ячменя пришлось на удобрения (33,2 %) и ГСМ (24,5 %), а при выращивании зернового сорго – на удобрения (28,2 %), ГСМ (26,7 %), очистку и сушку зерна (14,3 %). Технология выращивания кукурузы была самой энергоемкой (28491–28379 МДж/га), т.к. доля совокупной энергии, переносимой на продукцию машинами и оборудованием, достигла 45,5 %, в т. ч. 24,0 % – на послеуборочную очистку и сушку зерна, а доля затрат энергии на удобрения снизилась до 18,1 %, ГСМ – до 20,1 %.

Ключевые слова: потепление климата, сорго, ячмень, кукуруза, урожайность, энергетическая эффективность

Поступила 01.10.2024, одобрена после рецензирования 10.10.2024, принята к публикации 11.10.2024

Для цитирования. Барановский А. В., Тимошин Н. Н., Курдюкова О. Н. Энергетическая эффективность возделывания сорго и других зерновых культур в Донбассе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 147–159. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-147-159

Energy efficiency of sorghum and other grain crops cultivation in Donbass

A.V. Baranovsky^{✉1}, N.N. Timoshin¹, O.N. Kurdyukova²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov”
291008, Lugansk People's Republic, Lugansk, Artemovsky district, 1 LNAU

²State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Leningrad State University named after A.S. Pushkin”
196605, St. Petersburg, Pushkin, 10A Peterburgskoe highway

Abstract. The article analyses the yield and bioenergy efficiency of spring grain crops cultivation for 2018–2022 in five-field crop rotation of the Department of Agriculture and Crop Production of the Lugansk State Agrarian University. It was found that under the conditions of warming and increasing aridity of the climate of the Lugansk People's Republic the cultivation of grain sorghum medium-early hybrids such as Solarius, Sprint W (vegetation period 101–110 days or more) provided an increase in grain yield in comparison with spring barley variety Ratnik by 3.12–2.82 t/ha (110.6–104.1 %), and in comparison with grain corn medium-early hybrids (Lugansk 287 MB and Podolsky 274 CB) – by 2.08–1.70 t/ha (53.9–44.4 %). It was proved that when growing grain sorghum, replacement of autumn mouldboard plowing at a depth of 25–27 cm by shallow disc loosening at 12–14 cm significantly reduced the crop yield by 0.41 t/ha (6.9 %). When growing grain sorghum, the maximum experimental gross energy yield from 1 hectare of crops was obtained, which exceeded the accumulation of gross energy in the corn grain yield by 35263–29250 MJ/ha (60.4–50.5 %) and in the barley grain yield by 47294–42637 MJ/ha (101.9–95.6 %). This ensured the formation of the highest values of the energy efficiency coefficients (η) of sorghum cultivation – 4.37–4.11, which exceeded this indicator for grain corn by 2.32–2.0750 units, and for spring barley – by 1.67–1.50 units. The largest shares of gross energy costs in spring barley production were spent on fertilisers (33.2 %) and fuel and lubricants (24.5 %), and in grain sorghum production it was spent on fertilisers (28.2 %), fuel and lubricants (26.7 %) and grain cleaning and drying (14.3 %). The corn cultivation technology was the most energy-intensive (28491–28379 MJ/ha), as the share of total energy on the products by machinery and equipment reached 45.5 %, including 24.0 % on post-harvest cleaning and drying of grain, while the share of energy costs on fertilisers decreased to 18.1 % and on fuel and lubricants to 20.1 %.

Keywords: climate warming, sorghum, barley, corn, yield, energy efficiency

Submitted 01.10.2024,

approved after reviewing 10.10.2024,

accepted for publication 11.10.2024

For citation. Baranovsky A.V., Timoshin N.N., Kurdyukova O.N. Energy efficiency of sorghum and other grain crops cultivation in Donbass. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 147–159. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-147-159

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата на планете, его возрастающее потепление – объективная реальность [1]. Влиянию происходящих изменений климата в наибольшей степени подвержено сельское хозяйство. В условиях повышения температуры в умеренном поясе на планете культуры с типом фотосинтеза C-4, с высоким температурным порогом развития (кукуруза, сорго, просо, подсолнечник, некоторые виды бобовых культур) получают преимущества в сравнении с культурами вида C-3 [2]. Межправительственная группа экспертов по изменению климата в ближайшие 20–30 лет прогно-

зирует скорость роста температуры в среднем $0,2^{\circ}\text{C}/10$ лет [3]. За 1976–2020 гг. скорость роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры (суша и море) на планете достигла $0,179^{\circ}\text{C}/10$ лет, а температура над сушей – $0,295^{\circ}\text{C}/10$ лет. Территория России теплеет со скоростью $0,51^{\circ}\text{C}/10$ лет, причем каждое последующее десятилетие начиная с 1981–1990 гг. теплее предыдущего [4].

Активизация процесса потепления климата затронула и территорию Донбасса, в т.ч. Луганской Народной Республики [5, 6], где согласно данным Луганской АМС среднегодовая температура воздуха за последние 30 лет (1994–2023 гг.) составила $9,6^{\circ}\text{C}$ при средней многолетней норме за 171 год (1838–2008 гг.), равной $8,1^{\circ}\text{C}$, а скорость роста достигла $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет [7].

В условиях потепления климата увеличивается степень засушливости в основных регионах производства зерновых культур земледельческой зоны России. Поэтому возникает острая необходимость разработки эффективной стратегии адаптации аграрного сектора экономики России [8]. В этой ситуации рекомендуется заранее предусмотреть увеличение удельного веса более теплолюбивых, засухоустойчивых и жаростойких культур [1], способных в экстремальных условиях обеспечивать стабильные высокие урожаи. Важная роль здесь отводится сорго – наиболее жаростойкой засухоустойчивой, солеустойчивой и пластичной культуре разностороннего использования [9]. В засушливых регионах Юга России необходимо увеличить площади посева высокопродуктивного засухоустойчивого зернового сорго. В зонах недостаточного увлажнения сорго должно стать основной культурой, повышающей продуктивность севооборотов [10]. По многолетним опытным данным, в засушливых условиях Луганской Народной Республики по урожайности зерновое сорго значительно превосходит ведущие яровые зерновые культуры – овес, ячмень, просо, кукурузу [11].

Значительное колебание цен и влияния ценового фактора не всегда дают объективную оценку агротехническим мероприятиям в стоимостном выражении, так как через ценовые показатели неточно отражаются соотношения материально-технических, трудовых ресурсов и эффекта от мероприятия. Использование менее подверженных конъюнктуре рынка и рыночной экономики натуральных энергетических показателей более успешно решает эту задачу [12]. Оценка биоэнергетической эффективности технологии предусматривает определение степени окупаемости затрат совокупной энергии энергией, накопленной в урожае, исчисление энергоемкости производства единицы потребительской стоимости [13].

Особенностью развития земледелия на современном этапе является то, что увеличение урожайности в 2–3 раза сопровождается повышением затрат энергии на единицу продукции в 10–50 раз, что дает повод рассматривать производство продуктов питания как энергетическую проблему [14].

Основная задача энергетического анализа в земледелии – оценка затрат различных видов энергии. Энергетическая оценка урожая может объективно отражать результативность возделывания всех агрофитоценозов [15].

Цель наших исследований – провести сравнительную энергетическую оценку технологий выращивания яровых зерновых культур – кукурузы, ячменя и сорго в степных засушливых условиях Донбасса (территория ЛНР).

Задачи исследований – изучение продуктивности основных яровых зерновых культур региона и анализ показателей их биоэнергетической эффективности в сравнении с культурой зернового сорго.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в течение 2018–2022 гг. в пятипольном полевом севообороте кафедры земледелия и экологии окружающей среды на опытном поле ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова» со следующим чередованием культур: чистый пар – озимая пшеница – кукуруза на зерно (1/2 поля) + подсолнечник (1/2 поля) – яровой ячмень – зерновое сорго. Географические координаты расположения опытного поля – 48.535821 с.ш. и 39.215615 в.д. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный маломощный слабосмытый на лессовидном суглинке с содержанием в слое 0–25 см 3,3–3,4 % гумуса (по Тюрину), средних запасов подвижного азота и фосфора и повышенного количества обменного калия в отношении зерновых культур. Агротехника возделывания культур была общепринятой для ЛНР [16]. Посевы поддерживались в чистом фитосанитарном состоянии от сорняков, вредителей и болезней путем проведения соответствующих механических и химических обработок. В опыте изучали два варианта основной обработки почвы: традиционная – отвальная вспашка на 20–22 см под ячмень и на 25–27 см под кукурузу и сорго и энергосберегающая – плоскорезная обработка под кукурузу на 25–27 см и дисковое рыхление на глубину 12–14 см под ячмень и зерновое сорго. В севообороте для посева использовались семена следующих сортов: озимой пшеницы – Краса Дона, ярового ячменя – Ратник, гибриды кукурузы – Луганский 287 МВ и Краснодарский 230 МВ, гибрид подсолнечника – Командор 777, гибриды зернового сорго – Спринт W и Солариус. Повторность опыта – трехкратная. Нормы высева всхожих семян ярового ячменя – 4,5–5,0 млн/га, кукурузы – 55–60 тыс./га, зернового сорго – 220–230 тыс./га. Сроки сева культур – рекомендованные для региона [16].

Климат в республике – резко континентальный и характеризуется сильными, постоянными юго-восточными ветрами, засушливо-суховейными явлениями, неравномерным распределением осадков в течение года и большими колебаниями их количества по годам. Зима малоснежная, неустойчивая, лето теплое с неустойчивым увлажнением с частыми засушливыми периодами [17]. По многолетним данным Луганской АМС (1986–2005 гг.), среднегодовая температура воздуха равна 8,8°C, температура самого холодного месяца (января) равна -3,7...-4,9°C, самого теплого месяца (июля) равна +22,3...+22,8°C. Сумма активных ($\geq 10^\circ\text{C}$) температур за вегетационный период (170–182 дня) – 3148°C. Среднегодовое количество осадков – 528 мм, а за летние месяцы – 181 мм.

При возделывании изучаемых яровых культур все наблюдения, учеты, измерения, анализы проводились в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта [18]. Расчеты показателей биоэнергетической эффективности технологий проводились согласно соответствующим методикам [12, 13, 14, 20], а также работам А. В. Алабушева и Л. Н. Анипенко [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В годы проведения опыта погодные условия вегетационного периода контрастно различались (табл. 1). Наиболее засушливыми были 2018 и 2020 гг. (недобор осадков составил 75,2 и 179,0 мм, а ГТК был ниже нормы на 0,34 и 0,62 единицы). Крайне неблагоприятные условия влагообеспеченности сложились в 2020 году за период июнь–сентябрь (Σ осадков – 56,4 мм, ГТК – 0,20, т.е. условия природной зоны пустыни) [20].

Таблица 1. Показатели метеорологических наблюдений за погодными условиями вегетационного периода в 2018–2022 гг.

Table 1. Indicators of meteorological observations of the weather conditions of the growing season in 2018–2022

Год	Месяц						\bar{X} или Σ за IV–IX
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Среднемесячная температура воздуха, °С							
2018	11,9	18,5	21,6	23,7	22,5	18,0	19,2
2019	10,1	17,6	23,3	21,2	20,3	14,7	17,9
2020	8,5	14,8	23,0	24,1	21,8	18,2	18,4
2021	9,8	17,2	21,4	25,2	24,3	14,1	18,7
2022	12,4	13,9	21,5	22,5	25,4	14,8	18,4
Многолетняя норма*	10,1	15,6	20,0	22,4	20,9	15,0	17,3
Сумма осадков, мм							
2018	13,9	41,6	85,5	50,8	9,5	33,5	234,8
2019	99,5	74,9	23,4	96,5	73,4	18,5	386,2
2020	9,7	64,9	6,2	40,4	9,8	0,0	131,0
2021	36,5	63,2	151,0	22,2	34,0	34,3	341,2
2022	60,8	46,7	44,7	15,6	76,2	64,6	308,6
Многолетняя норма*	30	47	73	70	38	52	310
Гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова							
2018	0,39	0,73	1,32	0,69	0,14	0,62	0,65
2019	3,28	1,37	0,33	1,47	1,17	0,42	1,34
2020	0,04	1,41	0,09	0,54	0,15	0,00	0,37
2021	1,24	1,19	2,62	0,28	0,45	0,81	1,10
2022	1,63	1,08	0,69	0,22	0,97	1,45	1,01
Многолетняя норма*	0,99	0,97	1,22	1,01	0,59	1,16	0,99

Гидротермический режим в период вегетации сорго в 2022 году был на уровне многолетней нормы. Наилучшие условия влагообеспеченности были в 2019 и 2021 гг. (ГТК больше нормы на 0,35 и 0,11 единиц).

Таким образом, наиболее благоприятные условия для роста и развития ранних и поздних яровых зерновых культур были в 2019, 2021 и 2022 гг.

Период активной вегетации с.-х. культур (со среднесуточными температурами воздуха 10°C и выше), согласно данным Луганского ЦГМ, в 2018 году был 174 дня при сумме активных температур 3586°C, в 2019 году соответственно – 183 дня и 3460°C, в 2020 году – 174 дня и 3481°C, в 2021 году – 171 день и 3357°C, в 2022 году – 197 дней и 3564°C. Многолетние показатели, по данным Луганского ЦГМ, равны 176 дней и 3148°C [17].

Изучаемые способы основной обработки почвы оказывали влияние на рост, развитие и продуктивность яровых зерновых культур. Установлено, что при выращивании зерновой кукурузы на фоне глубокого (на 25–27 см) плоскорезного рыхления в качестве осенней основной обработки почвы показатели зерновой продуктивности были на уровне с вариантом осенней глубокой (на 25–27 см) отвальной вспашки. Также не отмечено суще-

ственных различий в продуктивности ярового ячменя в зависимости от изучаемых способов обработки почвы (табл. 2).

Таблица 2. Показатели продуктивности яровых зерновых культур в среднем за первую ротацию пятипольного севооборота (2018–2022 гг.)

Table 2. Productivity indicators of spring grain crops on average for the first rotation of the five-field crop rotation (2018–2022)

Культура	Способы основной обработки почвы	Густота продуктивных стеблей, шт./м ²		Масса зерна с початка, колоса, метелки, г		Масса 1000 зерен, г	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Кукуруза на зерно	Отвальная вспашка на 25-27 см	4,5±0,16	7,1	87,5±13,1	30,3	219,9±9,8	10,0
	Плоскорезная обработка 25-27 см	4,6±0,21	9,1	86,8±13,6	32,5	221,7±10,5	10,6
Яровой ячмень	Отвальная вспашка на 20-22 см	382±20,7	12,2	0,76±0,04	12,7	43,2±1,3	6,5
	Рыхление УДА-2,4-20М 12-14 см	378±24,1	14,3	0,74±0,05	15,3	43,0±1,7	8,9
Зерновое сорго	Отвальная вспашка на 25-27 см	13,7±0,9	14,8	43,8±3,61	18,8	18,7±1,1	13,1
	Рыхление УДА-2,4-20М 12-14 см	13,5±0,8	13,3	40,5±3,97	21,9	17,9±1,1	13,4

Зерновое сорго положительно реагировало существенным приростом урожая на глубокую (на 25–27 см) отвальную вспашку в сравнении с мелким (12–14 см) дисковым рыхлением. В среднем за 5 лет исследований прирост зерна составил 0,41 т/га (7,4 %) при НСР₀₅ = 0,27–0,38 т/га за счет повышения массы зерна с метелки – на 3,3 г (8,1 %) и массы 1000 зерен – на 0,8 г (4,5%).

В связи с различными уровнями сформированной урожайности и содержания общей энергии в 1 кг сухого вещества зерна были получены различные уровни накопления валовой энергии в урожае зерна с 1 гектара. Среди изучаемых яровых зерновых культур севооборота за счет наибольшей урожайности зерна и средних затрат совокупной энергии на технологию выращивания в посевах сорго получены максимальные показатели энергетической эффективности (табл. 3).

В сравнении с кукурузой на варианте с отвальной вспашкой по культуре сорго содержание валовой энергии в урожае зерна было выше на 35263 МДж/га (60,4 %), приращение энергии – на 42327 МДж/га (141,4 %), коэффициент энергетической эффективности (η) возрос на 1,75 единицы.

Несмотря на минимальные затраты совокупной энергии на технологию выращивания, но за счет наиболее низкого уровня урожайности яровой ячмень обеспечил и самый низкий выход валовой энергии с 1 гектара посевов, который по варианту отвальной вспашки в сравнении с зерновым сорго снизился на 47294 МДж/га (50,5 %), а коэффициент энергетической эффективности по зерну уменьшился на 1,67 единицы.

Расчетные данные технологических процессов свидетельствуют, что наибольший удельный вес в структуре совокупных затрат при выращивании ярового ячменя приходится на применение удобрений (33,2 %) и горюче-смазочных материалов (24,5 %). При выращивании зернового сорго значительно возрастает доля энергетических потоков, пе-

реносимых на продукцию машинами и оборудованием (34,3 %), что связано с резким ростом затрат энергии на послеуборочную очистку и сушку зерна (14,3 % от всех валовых энергетических затрат по технологии возделывания культуры). При этом доля энергозатрат на применение удобрений снизилась до 28,2 %, а на использование ГСМ – до 26,7 %. Наиболее энергоемкой оказалась технология выращивания кукурузы на зерно, в которой доля затрат совокупной энергии, переносимой на продукцию машинами и оборудованием, достигла 45,5 %. При этом 24,0 % всех валовых затрат энергии пришлось на послеуборочную очистку и сушку зерна до стандартной влажности (рис.).

Таблица 3. Показатели урожайности и энергетической эффективности яровых зерновых культур за ротацию пятипольного севооборота (2018–2022 гг.)

Table 3. Indicators of yield and bioenergy efficiency in spring crops cultivation on average for the first rotation of the five-field crop rotation (2018-2022)

Культура	Способы основной обработки почвы	Урожайность зерна, т/га	Затраты совокупной энергии, МДж/га	Содержание валовой энергии в урожае зерна, МДж/га	Приращение энергии, МДж/га	Затраты энергии на единицу продукции, МДж/т	Коэффициент энергетической эффективности (η)
Кукуруза на зерно	Отвальная вспашка на 25–27 см	3,86	28491	58425	29934	7381	2,05
	Плоскорезная обработка 25–27 см	3,83	28379	57971	29592	7410	2,04
Яровой ячмень	Отвальная вспашка на 20–22 см	2,82	17199	46394	29195	6099	2,70
	Рыхление УДА-2,4-20М 12–14 см	2,71	17065	44584	27519	6297	2,61
Зерновое сорго	Отвальная вспашка на 25–27 см	5,94	21427	93688	72261	3607	4,37
	Рыхление УДА-2,4-20М 12–14 см	5,53	21230	87221	65991	3839	4,11

Анализ показателей биоэнергетической эффективности возделывания зерновых культур свидетельствует, что наиболее энергоемким является производство зерна кукурузы, когда за счет сравнительно невысокой урожайности культуры потребовалось максимальное количество затрат энергии на единицу продукции, что было в 2,0–1,9 раза больше, чем на производство 1 тонны зерна сорго. Также при этом получен и самый низкий коэффициент энергетической эффективности по зерну (2,04–2,05 единицы), что также было вдвое меньше, чем при выращивании зернового сорго.

В связи с невысокой урожайностью выращивание ярового ячменя обеспечивало значительно меньший энергетический эффект в сравнении с зерновым сорго. Коэффициент энергетической эффективности производства зерна ярового ячменя снизился на 1,67–1,50 единицы относительно посевов зернового сорго.

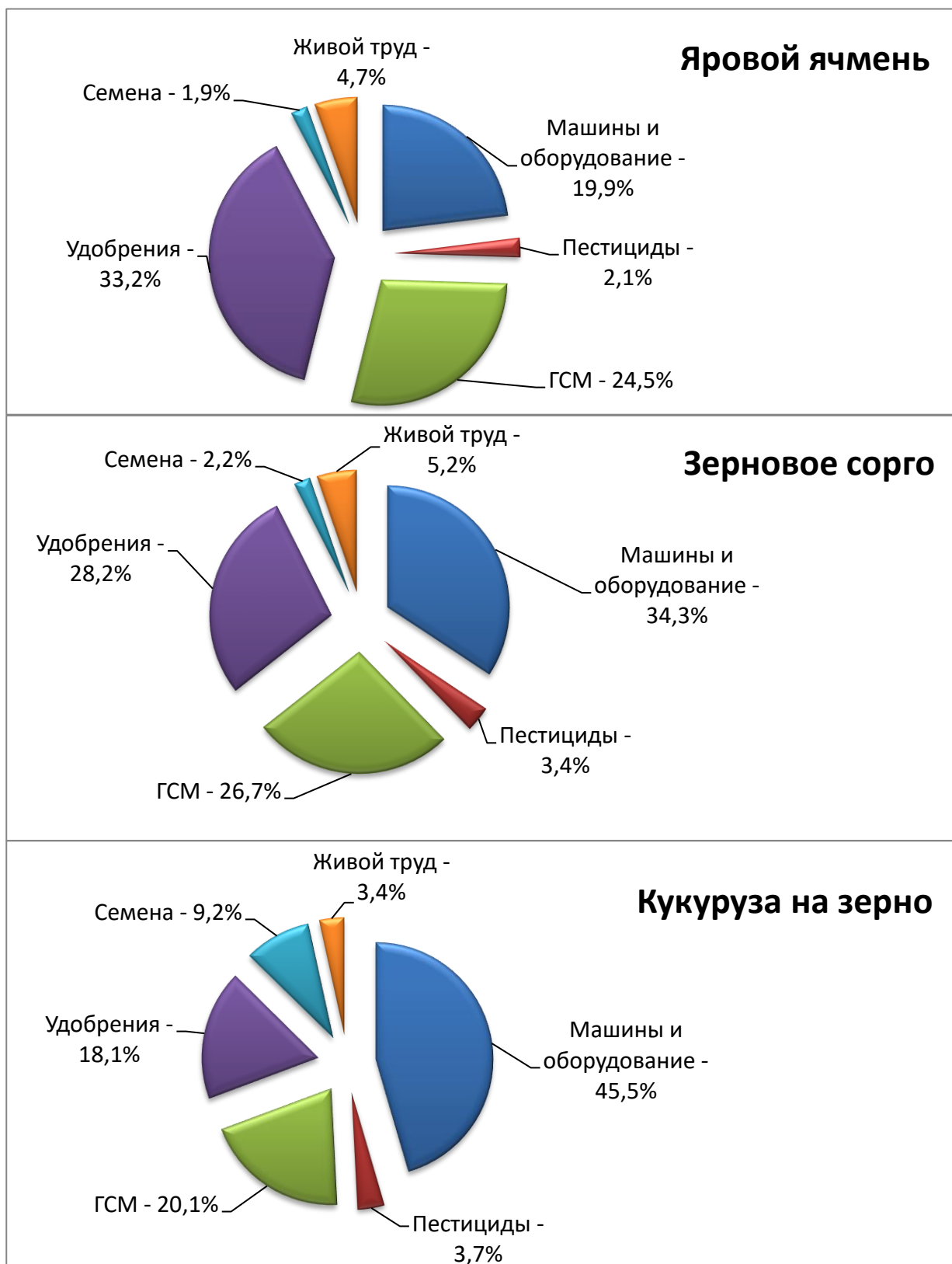


Рис. Структура совокупных энергетических затрат при выращивании изучаемых зерновых культур на вариантах с отвальной вспашкой, %

Fig. The structure of total energy costs in the cultivation of the studied crops on options with mouldboard plowing, %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам исследований за 2018–2022 гг. установлено, что в засушливых условиях Луганской Народной Республики выращивание рекомендованных гибридов зернового сорго обеспечивает формирование значительно более высоких уровней урожайности в сравнении с основными яровыми зерновыми культурами региона – яровым ячменем и кукурузой. Прирост урожайности зерна в сравнении с яровым ячменем достигал 3,12–2,82 т/га (110,6–104,1 %), с зерновой кукурузой – 2,08–1,70 т/га (53,9–44,4 %).

При выращивании зерновой кукурузы и ярового ячменя не отмечено существенных различий по урожайности в зависимости от изучаемых способов основной обработки почвы. При выращивании зернового сорго замена глубокой отвальной вспашки на 25–27 см на мелкое дисковое рыхление на 12–14 см приводила к существенному снижению урожайности культуры на 0,41 т/га (6,9 %).

Высокая урожайность зернового сорго обеспечила и максимальный в опыте выход валовой энергии с 1 гектара посевов, что превысило накопление валовой энергии в урожае зерна кукурузы на 35263–29250 МДж/га (60,4–50,5 %), в урожае зерна ячменя – на 47294–42637 МДж/га (101,9–95,6%). На посевах зернового сорго были получены и максимальные коэффициенты энергетической эффективности (η), которые превысили показатели зерновой кукурузы на 2,32–2,07 единицы, а ярового ячменя – на 1,67–1,50 единицы.

В структуре энергетических потоков при производстве зерна ярового ячменя максимум приходился на применение удобрений (33,2 %) и горюче-смазочных материалов (24,5 %). При производстве зернового сорго заметно возрастала доля энергетических потоков, переносимых на продукцию машинами и оборудованием (34,3 %), что связано с резким ростом затрат энергии на послеуборочную доработку – очистку и сушку зерна (14,3 % от всех валовых энергетических затрат в технологии возделывания культуры). При этом доля энергозатрат на применение удобрений снизилась до 28,2 %, а на использование ГСМ – до 26,7 %. При выращивании кукурузы доля затрат совокупной энергии, переносимой на продукцию машинами и оборудованием, достигла 45,5 %, что вызвано значительным их увеличением на очистку и сушку убранных зерно до базисных кондиций.

Таким образом, в условиях ускорения темпов потепления и усиления засушливости климата в западной части Донецко-донского региона степной зоны России, в которую входит территория ЛНР, наиболее урожайной, энергетически ценной, целесообразной, перспективной яровой зерновой культурой является засухоустойчивое зерновое сорго, посевные площади для выращивания которого в регионе необходимо значительно увеличивать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михилев А. В.* Потепление климата – конкурентное преимущество сельского хозяйства Российской Федерации // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2018. № 7. С. 70–73. EDN: YNVGEN
2. *Кошкин Е. И., Андреева И. В., Гусейнов Г. Г.* Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам // Агрохимия. 2019. № 12. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119120068
3. *Шеламова Н. А.* Влияние изменения климата на сельское хозяйство и продовольственную безопасность в мире и России // Аграрная политика России: устойчивость и конкурентоспособность: Труды Международной научно-практической

конференции, посвященной 100-летию академика ВАСХНИЛ В. Р. Боева. М.: ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ, 2022. С. 248–258.

4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М., 2020. 97 с.

5. Барановский А. В., Курдюкова О. Н. Анализ динамики погодных условий Луганской области за последние 100 лет // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8. С. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-54-62

6. Барановский А. В., Токаренко В. Н., Тюканько Е. А. Экологические особенности выращивания зернового сорго в Донбассе в условиях изменяющегося климата // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 20–31. EDN: PPESFW

7. Соколов И. Д., Долгих Е. Д., Соколова Е. И. Изменение климата востока Украины и его прогнозирование. Оптимистическое руководство. Луганск: Элтон-2, 2010. 133 с.

8. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.

9. Муслимов М. Г., Камилова Э. С., Четверкина Е. Н., Яхьяева А. М. Продуктивность сорго в равнинных агроландшафтах Республики Дагестан // В сборнике: Современные экологические проблемы в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-практической конференции. Махачкала: Дагестанский ГАУ, 2019. С. 96–103.

10. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н. Эффективность производства сорго зернового. Ростов-на-Дону: Книга, 2002. 192 с.

11. Барановский А. В. Сравнительная продуктивность яровых зерновых культур в засушливых условиях Луганской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1(81). С. 28–33. EDN: TSZYUW

12. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. М.: РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2007. 21 с.

13. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке технологий возделывания кукурузы. М.: ВАСХНИЛ, ВНИИ кукурузы, 1988. 52 с.

14. Смаглій О. Ф., Малиновський А. С., Кардашов А. Т. *Et al.* Енергетична оцінка агроєкосистем: навчальний посібник, за ред. Л. А. Шкумбатюк. Житомир: Волинь, 2004. 132 с.

15. Булаткин Г. А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов. Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1986. 210 с.

16. Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях нарастания аридности климата (научно-практические рекомендации). Луганск: ГОУ ВО ЛНР ЛНАУ, 2019. 123 с.

17. Агроклиматический справочник по Луганской области (1986–2005 гг.) / Под ред. Ю. Н. Власова. Луганск: Виртуальная реальность, 2011. 216 с.

18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

19. Орешкин М. В., Усатенко Ю. И., Брагин В. М. Основы биоэнергетического анализа: научное издание. Луганск: Элтон-2, 2008. 47 с.

20. Чирков Ю. И. Агрометеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 320 с.

REFERENCES

1. Mikhilev A.V. Climate warming – a competitive advantage of agriculture in the Russian Federation. *Vestnik Kurskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk Agricultural Academy]. 2018. No. 7. Pp. 70–73. EDN: YNVGEH. (In Russian)

2. Koshkin E.I., Andreeva I.V., Guseynov G.G. Influence of global climate changes on productivity and resistance of agricultural crops to stressors. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2019. No. 12. Pp. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119120068. (In Russian)
3. Shelamova N.A. Impact of climate change on agriculture and food security in the world and Russia. *Agrarnaya politika Rossii: ustoychivost' i konkurentosposobnost': Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: FGBNU FNTs VNIIESHh, 2022. Pp. 248–258. (In Russian)
4. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2019 god* [Report on climate peculiarities on the territory of the Russian Federation for 2019]. Moscow, 2020. 97 p. (In Russian)
5. Baranovsky A.V., Kurdyukova O.N. Analysis of the dynamics of weather conditions of Lugansk region for the last 100 years. *Bulletin of KSAU*. 2021. No. 8. Pp. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-54-62. (In Russian)
6. Baranovsky A.V., Tokarenko V.N., Tyukanko E.A. Ecological features of grain sorghum cultivation in Donbass under the changing climate. *Vestnik Kurskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk Agricultural Academy]. 2021. No. 5. Pp. 20–31. EDN: PPESFW. (In Russian)
7. Sokolov I.D., Dolgikh E.D., Sokolova E.I. *Izmenenie klimata vostoka Ukrainy i ego prognozirovaniye. Optimisticheskoe rukovodstvo* [Climate change in eastern Ukraine and its forecasting. Optimistic leadership]. Lugansk: Elton-2, 2010. 133 p. (In Russian)
8. The Third Assessment Report on Climate Change and its Impacts on the Territory of the Russian Federation. *Obshchee rezyume* [General summary]. Sankt-Peterburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 p. (In Russian)
9. Muslimov M.G., Kamilova E.S., Chetverkina E.N., Yakhyaeva A.M. Productivity of sorghum in the plain agrolandscapes of the Republic of Dagestan. *V sbornike: Sovremennye ekologicheskie problemy v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Makhachkala: Dagestanskiy GAU, 2019. Pp. 96–103. (In Russian)
10. Alabushev A.V., Anipenko L.N. *Effektivnost' proizvodstva sorgo zernovogo* [Efficiency of grain sorghum production]. Rostov-on-Don: Book, 2002. 192 p. (In Russian)
11. Baranovsky A.V. Comparative productivity of spring grain crops in arid conditions of Lugansk region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University]. 2020. No. 1(81). Pp. 28–33. EDN: TSZYWW. (In Russian)
12. *Metodologiya i metodika energeticheskoy otsenki agrotekhnologiy v agrolandshaftakh* [Methodology and methods of energy assessment of agrotechnologies in agrolandscapes]. Moscow: K.A. Timiryazev Russian Academy of Agricultural Sciences, 2007. 21 p. (In Russian)
13. *Metodicheskiye rekomendatsii po bioenergeticheskoy otsenke tekhnologiy vozdeleyvaniya kukuruzy* [Methodical recommendations for bioenergetic assessment of corn cultivation technologies]. Moscow: VASKHNIL, Russian Research Institute of Corn, 1988. 52 p. (In Russian)
14. Smaglyi O.F., Malinovskiy A.S., Kardashov A.T. et al. Energy evaluation of agroecosystems: navchal'nyy posibnyk. Zhytomyr: Volin, 2004. 132 p. (in Ukrainian)
15. Bulatkin G.A. *Ekologo-energeticheskiye aspekty produktivnosti agrotsenozov* [Ecological and energy aspects of productivity of agrocenoses]. Pushchino: ONTI NCBI of the USSR Academy of Sciences, 1986. 210 p. (In Russian)

16. *Innovatsionnyye tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh narastaniya aridnosti klimata (nauchno-prakticheskiye rekomendatsii)* [Innovative technologies of cultivation of agricultural crops in conditions of increasing climate aridity (scientific and practical recommendations)]. Lugansk: SEI HE LPR LNAU, 2019. 123 p. (In Russian)

17. Vlasov Y.N. *Agroklimaticheskiy spravochnik po Luganskoy oblasti (1986-2005 gg.)* [Agroclimatic reference book for Lugansk region (1986-2005)]. Lugansk: Virtual Reality, 2011. 216 p. (In Russian)

18. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (In Russian)

19. Oreshkin M.V., Usatenko Y.I., Bragin V.M. *Osnovy bioenergeticheskogo analiza* [Fundamentals of bioenergetic analysis]: scientific edition. Lugansk: Elton-2, 2008. 47 p. (In Russian)

20. Chirkov Yu.I. *Agrometeorologiya* [Agrometeorology]. Lvov: Gidrometeoizdat, 1979. 320 p. (In Russian)

Вклад авторов:

А. В. Барановский – концептуализация и проектирование исследований, закладка и выполнение полевых опытов, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи;

Н. Н. Тимошин – участие в проведении опытов, критический анализ текста;

О. Н. Курдюкова – финальная доработка текста статьи.

Contribution of the authors:

A.V. Baranovsky – conceptualization and design of research, design and implementation of field experiments, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation;

N.N. Timoshin – participation in experiments, critical analysis of text;

O.N. Kurdyukova – final revision of the article text.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Барановский Александр Васильевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры земледелия и растениеводства, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова; 291008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, г.о. Луганский, р-н Артемовский, тер. ЛНАУ, 1;

lnau_sorgo2011@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2098-0889>; SPIN-код: 9133-9230

Тимошин Николай Николаевич, канд. с.-х. наук, зав. кафедрой земледелия и растениеводства, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова; 291008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, г.о. Луганский, р-н Артемовский, тер. ЛНАУ, 1;

Zemledelie2016@yandex.ru, SPIN-код: 2430-9178

Курдюкова Ольга Николаевна, доктор с.-х. наук, профессор кафедры естествознания и географии, Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина;
196605, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 10 лит. А;
herbology8@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7500-8275>, SPIN-код: 5053-4518

Information about the authors

Alexander V. Baranovsky, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Crop Production, Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov;

291008, Lugansk People's Republic, Lugansk, Artemovsky district, 1 LNAU;

Lnau_sorgo2011@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2098-0889>, SPIN-code: 9133-9230

Nikolay N. Timoshin, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agriculture and Crop Production, Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov;

291008, Lugansk People's Republic, Lugansk, Artemovsky district, 1 LNAU;

Zemledelie2016@yandex.ru, SPIN-code: 2430-9178

Olga N. Kurdyukova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Natural Sciences and Geography, Leningrad State University named after A.S. Pushkin;

196605, Saint Petersburg, Pushkin, 10 Peterburgskoe highway;

herbology8@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7500-8275>, SPIN-code: 5053-4518